



# Système de refroidissement d'un récepteur de système photovoltaïque de haute concentration

Jérôme Barrau, Lounes Tadriss, Manel Ibanez Plana

## ► To cite this version:

Jérôme Barrau, Lounes Tadriss, Manel Ibanez Plana. Système de refroidissement d'un récepteur de système photovoltaïque de haute concentration. JITH 2007, Aug 2007, Albi, France. 5p. hal-00164709

**HAL Id: hal-00164709**

**<https://hal.science/hal-00164709>**

Submitted on 29 Aug 2007

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# SYSTÈME DE REFROIDISSEMENT D'UN RÉCEPTEUR DE SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE DE HAUTE CONCENTRATION

Jérôme BARRAU (1), Lounes TADRIST(2), Manel IBÁÑEZ PLANA (1)

(1) Edifici CREA, C/ Pere Cabrera, s/n, Lleida, Espagne

(2) IUSTI, Techn. de Château-Gombert, 5 rue Enrico Fermi - 13453 Marseille Cedex 3  
*jerome@macs.udl.es; lounes.tadrist@polytech.univ-mrs.fr; m.ibanez@macs.udl.cat*

**Résumé :** Le système de refroidissement proposé pour traiter la problématique des hauts flux énergétiques des générateurs photovoltaïques de haute concentration combine les caractéristiques des jets impactants et des micro canaux. Ces deux technologies, actuellement utilisées dans le domaine de l'électronique de puissance, présentent un inconvénient pour leur application en concentration solaire: la non uniformité des températures dans le sens de l'écoulement qui provoque la diminution du rendement du récepteur photovoltaïque. Cette étude présente l'effet de la variation des paramètres caractéristiques des deux technologies combinées dans le système proposé sur l'uniformité des températures des cellules photovoltaïques.

**Mots clés :** Jet impactant, Micro canaux, Concentration solaire photovoltaïque

## 1. INTRODUCTION ET MOTIVATION

Les systèmes de production d'électricité solaire de haute concentration (de 200 à 1000 soleils) sont en constant développement, notamment grâce à l'évolution des cellules photovoltaïques multicouches qui ont déjà largement dépassé les 30 % de rendement électrique. La grande problématique de ces systèmes est la gestion de la partie des hauts flux énergétiques non transformée en électricité par les cellules photovoltaïques. Celles-ci nécessitent un très bon niveau de refroidissement pour éviter la réduction de leur durée de vie et la diminution de leur rendement. De plus, il est nécessaire, tant vis-à-vis du rendement global du récepteur photovoltaïque que des problématiques mécaniques de celui-ci, que la température des cellules soit la plus uniforme possible. En outre, la récupération de l'énergie thermique transmise par les cellules augmente considérablement le rendement global du système.

Royne [1] a démontré que les seules technologies de dissipation capables de gérer les hauts flux thermiques générés dans les systèmes solaires de haute concentration sont celles utilisées dans le domaine de l'électronique de puissance. Il s'agit des micro canaux et des jets impactant.

Les micro canaux [2], du fait de l'échauffement du liquide de refroidissement le long du trajet suivi, provoquent une forte augmentation de la température de la cellule [3]. Pour leur part, les jets impactant présentent l'inconvénient de la forte diminution des coefficients d'échanges thermiques locaux quand on s'éloigne du point central d'impact. L'utilisation de matrices de jets situés les uns à côté des autres provoque, du fait des courants transversaux que provoquent les jets contigus, une diminution des échanges thermiques [4]. Ces inconvénients, qui impliquent tous deux des variations de températures importantes des surfaces à refroidir, limitent les possibilités d'une application directe de ces technologies dans les systèmes photovoltaïques de haute concentration.

Toutefois, les transferts thermiques des systèmes de dissipation qui utilisent ces deux technologies sont fortement dépendants de plusieurs paramètres. Dans le cas de micro canaux, les dimensions des canaux (hauteur, largeur, épaisseur des parois), et donc en conséquence, la concentration surfacique de canaux, sont les paramètres les plus influents pour des conditions de flux massique constantes. Dans le cas des jets impactant, la variation du rapport  $H/d$  (Hauteur de la sortie du jet par rapport à la surface d'impact / diamètre du trou de sortie du jet) influence tant la magnitude des coefficients d'échanges thermiques locaux que leur niveau d'uniformité.

L'objectif du système de dissipation proposé est de maintenir les cellules photovoltaïques à des températures les plus basses possibles avec un niveau d'uniformité optimum.

## 2. SYSTÈME DE DISSIPATION PROPOSÉ

### 2.1. Justification

Dans tous les systèmes de dissipation, la température du liquide de refroidissement augmente dans le sens de l'écoulement. Cela implique une diminution du flux thermique. Comme le flux thermique incident sur les cellules est, en négligeant les défauts optiques du concentrateur, uniforme, la température de la cellule augmente dans le sens de l'écoulement. Le système proposé compense l'augmentation de la température du liquide de refroidissement le long du trajet par l'augmentation de l'échange thermique en fonction de la distance en faisant varier les paramètres influents sur les échanges thermiques des micro canaux et des jets impactant. Nous obtenons ainsi, en plus d'une très bonne dissipation thermique inhérente à ces technologies, une meilleure uniformité de la température des cellules.

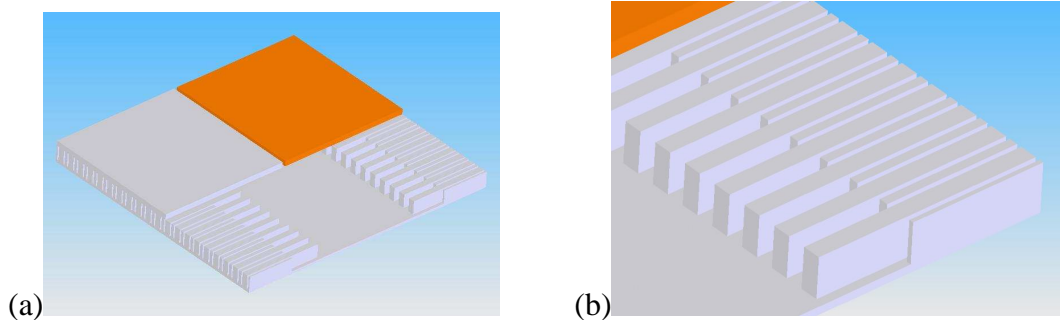


Figure 1 : Vue 3D du système (a) et détail de la distribution géométrique des canaux (b)

L'entrée du fluide se fait par la fente située sur le plan de symétrie du dissipateur, entre les deux plaques supérieures (découpées pour pouvoir observer la géométrie du système), et sort par les extrémités des canaux (figure 1).

La symétrie linéale offre plusieurs avantages. En premier lieu, la réalisation technique de l'entrée et de la sortie du liquide de refroidissement est plus simple que pour une symétrie circulaire. En second lieu, la symétrie des échanges thermiques sur une dimension est assurée par la propre géométrie du système.

La disposition présentée offre deux zones d'échanges thermiques. La première, sans canaux, correspond à l'échange thermique d'un jet impactant. La deuxième correspond à une

zone de micro canaux. La géométrie du système permet d'obtenir les écoulements appropriés dans chacune des zone: Turbulent dans la zone de jet impactant et laminaire dans la zone de micro canaux.

## 2.2 Modèle d'étude

Pour étudier les variations de températures des cellules, nous avons utilisé les différents plans de symétrie du système de refroidissement. Le modèle d'étude est celui présenté à la figure 2. En plus des différentes conditions de symétrie, nous avons appliqué au modèle la vitesse d'entrée du liquide (face en rouge), une condition de sortie totale du fluide par le canal de sortie (face bleue) et une condition de flux thermique constant sur la face inférieure. Dans tous les cas, la température d'entrée du fluide de refroidissement est de 300 °K. La modélisation des écoulements turbulents s'est faite par le biais du modèle  $k-\omega$  SST [5].

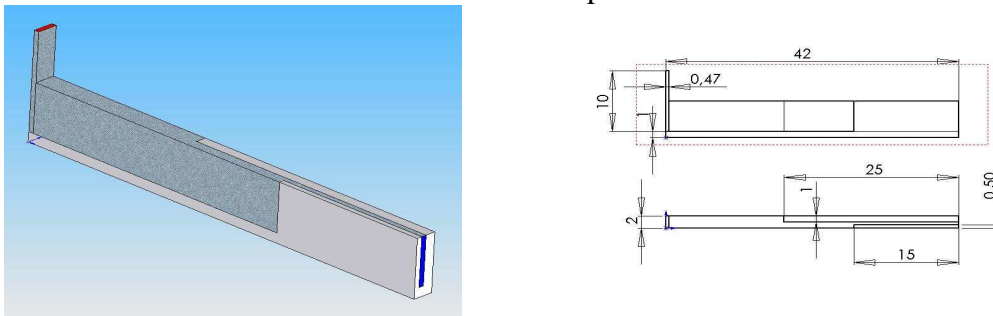


Figure 2 : Modèle numérique

## 3. SIMULATIONS ET RÉSULTATS

Pour étudier l'effet de la vitesse sur la distribution de températures des cellules, nous avons maintenu le débit massique du liquide de refroidissement constant. Pour cela, nous avons associé à chacune des trois vitesses d'entrée étudiée des sections d'entrée différentes. Cela est l'unique variation géométrique entre les trois simulations.

Le flux de chaleur a été choisi volontairement très élevé pour améliorer la visualisation des effets des différents paramètres. Des simulations avec des flux de chaleur de  $200.000 \text{ W/m}^2$  ont également été réalisées et les résultats ont montré exactement les mêmes tendances. Les figures 3, 4, 5 représentent le profil de température des cellules photovoltaïques et les coefficients d'échange thermiques le long du canal.

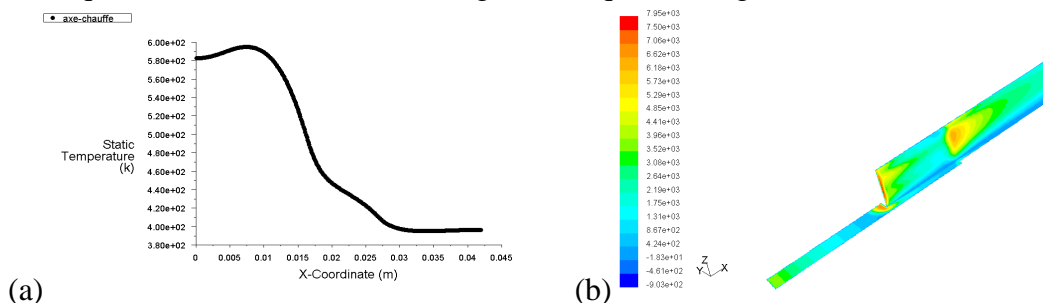


Figure 3 : Profil de température des cellules photovoltaïques (a) et coefficients d'échange thermiques le long du canal (b) pour une vitesse d'entrée de 0,1 m/s

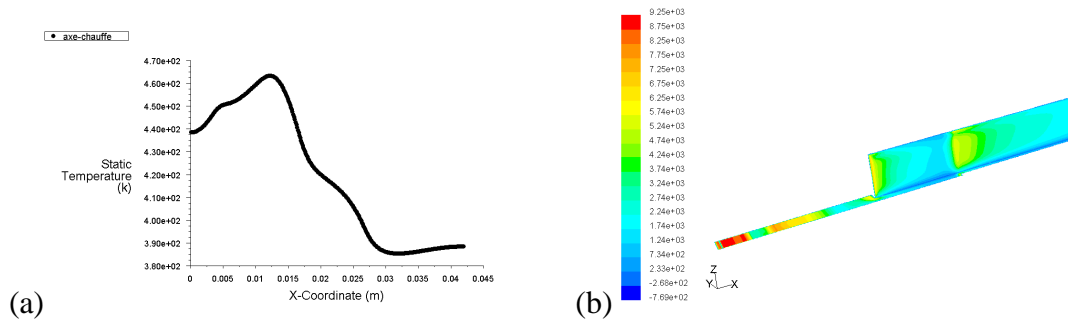


Figure 4 : Profil de température des cellules photovoltaïques (a) et coefficients d'échange thermiques le long du canal (b) pour une vitesse d'entrée de 0,5 m/s

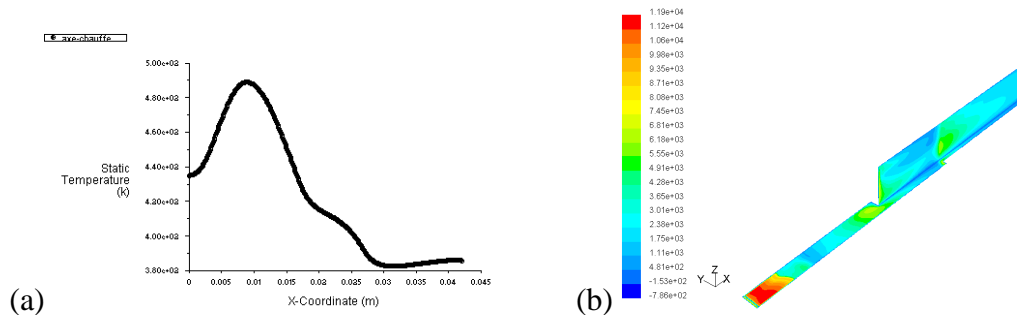


Figure 5 : Profil de température des cellules photovoltaïques (a) et coefficients d'échange thermiques le long du canal (b) pour une vitesse d'entrée de 1 m/s

Les figures 4 et 5 montrent des profils de température similaires. La température minimum des cellules est la même dans les deux cas. Mais dans le cas de la vitesse d'entrée du fluide de refroidissement de 1 m/s, la turbulence du jet impactant est telle qu'il y a un décrochage très rapide de l'écoulement par rapport à la paroi (figure 6) et donc, comme on peut l'observer à la figure 5 (b), une baisse immédiate du coefficient de transfert thermique local. C'est dans cette zone que nous trouvons la température maximum de la cellule dans le cas de la vitesse de 1 m/s.

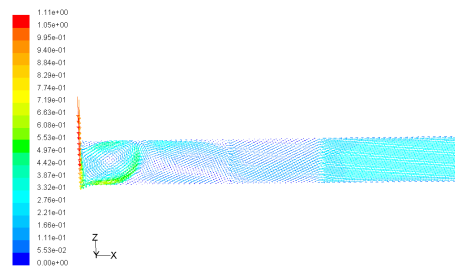


Figure 6 : Ecoulement dans l'axe du canal pour une vitesse d'entrée de 1 m/s

Les trois figures montrent, après la zone de jet impactant, des profils de températures décroissant avec la position  $x$ . Cela est dû au paramètre que nous avons appelé « Concentration surfacique de canaux » (Nombre de canaux / unité superficie de cellules). Cette concentration augmente à la position  $x=17$  mm jusqu'à où arrive le canal «long ». Celui-ci influence les coefficients d'échanges avant même de la position  $x=17$  mm car la géométrie modélisée présente des changements de sections brusques qui provoquent des turbulences en amont. La concentration surfacique de canaux augmente encore à la position  $x=27$  mm où se trouve le début du canal « court ». Après cette position, plus aucun paramètre ne varie et on retrouve l'augmentation de température caractéristique des micro canaux. L'augmentation de la concentration surfacique de canaux favorise les échanges

thermiques en augmentant la surface d'échange thermique (faces verticales des canaux) et en augmentant la vitesse du fluide (à cause de la diminution de la section). (figure 6)

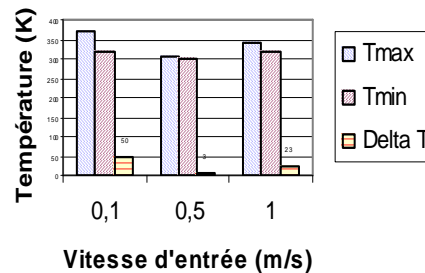


Figure 7 : Températures des cellules pour un flux de chaleur de  $1.000.000 \text{ W/m}^2$

La simulation avec une vitesse d'entrée de 0,1 m/s donne une variation de la température sur la surface des cellules approximativement deux fois plus grande que pour les deux autres simulations. De plus, on observe que l'effet du jet impactant pour une vitesse d'entrée si faible est insignifiant (figure 3a).

Il est remarquable de constater que la différence de température de la surface des cellules ne diminue pas forcément lorsque la vitesse d'entrée du fluide augmente (figure 7). La déviation maximale des températures par rapport à la température moyenne est de  $48,1^\circ\text{K}$  et  $64,8^\circ\text{K}$  pour des vitesses d'entrée respectives de 0,5 m/s et 1 m/s. La vitesse d'entrée, qui a une très forte influence sur l'écoulement dans la zone de jet impactant, est donc un paramètre clé pour contrôler l'uniformité des températures.

## CONCLUSION

Cette étude démontre qu'une augmentation de la vitesse d'entrée du fluide de refroidissement ne se traduit pas forcément en une diminution de la magnitude et de la différence de températures des cellules.

De plus, nous avons démontré qu'en faisant varier un paramètre influant de l'échange thermique du système (dans ce cas, la concentration surfacique de canaux), nous avons pu modifier le profil de températures des cellules par rapport à celui que nous obtiendrions avec des systèmes classiques de micro canaux ou de jets impactant. Cette étude ouvre la voie de l'optimisation de tous les paramètres influents du système de refroidissement proposé, parmi lesquels la vitesse d'entrée, la distribution des canaux, la présence de surfaces courbes sous le jet impactant et la hauteur des canaux sont les plus remarquables.

## Références

- [1] A.Royne, C. J. Dey, D. R. Mills, Cooling of photovoltaic cells under concentrated illumination: a critical review, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 86, 451-483, 2005.
- [2] D.B. Tuckerman, R. F. W. Pease, High-Performance Heat Sinking for VLSI, *IEEE Electron Device Letters*, Vol.EDL2, N°5, 1981.
- [3] S.H. Chong, K.T. Ooi, T.N. Wong, Optimisation of single and double layer counter flow microchannel heat sinks, *Applied Thermal Engineering*, 22, 1569-1585, 2002.
- [4] D. Y. Lee, K. Vafai, Comparative analysis of jet impingement and microchannel cooling for high heat flux applications, *International Journal of Heat Transfer*, 42, 1555-1568, 1999.
- [5] N. Zuckerman, N. Lior, Impingement Heat Transfer: Correlations and Numerical Modeling, *Journal of Heat Transfer*, 127, 544-552, 2005.